

■ 論 文 ■

자료포락분석을 이용한 서울시 간선버스노선 효율성 평가

A DEA(Data Envelopment Analysis) Approach for Evaluating
the Efficiency of Exclusive Bus Routes

한진석

(서울대학교 공학연구소 연구원)

김혜란

(국토연구원 책임연구원)

고승영

(서울대학교 건설환경공학부 교수)

목 차

- | | |
|----------------------|-----------------|
| I. 서론 | 1. 효율성의 정의 |
| 1. 연구의 배경 및 목적 | 2. 자료포락분석 |
| 2. 연구의 범위 및 방법 | 3. 토빗회귀분석 |
| II. 기존연구고찰 | IV. 효율성 평가 및 해석 |
| 1. 현행 버스서비스 평가체계 | V. 결론 및 향후연구과제 |
| 2. 기존문헌검토 | 참고문헌 |
| III. 자료포락분석 및 토빗회귀분석 | |

Key Words : 간선버스노선, 자료포락분석, 의사결정단위, 효율성, 토빗회귀분석
Exclusive Bus Route, DEA(Data Envelopment Analysis), DMU(Decision Making Unit),
Efficiency, Tobit Regression

요 약

서울시의 버스체계개편 시행 후 약 4년이 지난 현재 대중교통 이용승객의 증가에도 불구하고 서울시의 재정부담은 크게 개선되지 못하였다. 이에 서울시는 버스의 경쟁력을 강화하고 효율성을 제고하기 위한 정책들을 수립할 계획이며, 이러한 정책의 효과를 객관적으로 평가하기 위해서는 버스수단 경쟁력의 기반이 되는 노선의 효율성 추정과 이에 영향을 미치는 요인들의 분석이 요구된다. 본 연구에서는 2008년 서울시 간선버스 노선의 자료와 DEA 모형의 하나인 BCC 모형을 이용하여 각 노선의 효율성을 추정하였다. 효율성 추정시 각 노선은 차량대수, 노선거리, 정류장개수, 배차간격, 운영비를 투입하여 승객수와 수익금을 산출하는 것으로 가정하였다.

투입지향 BCC 모형으로 분석한 결과, 평가노선 18개 중 규모수익불변(CRS)인 노선은 총 2개이며, 나머지 16개 노선은 규모수익체증(IRS)인 노선으로 분석되었다. 또한 분석에 사용된 요소들이 효율성 점수에 미치는 영향을 파악하기 위하여 토빗회귀분석을 수행한 결과, 현재 간선버스에 가장 큰 영향을 미치는 변수는 배차간격인 것으로 분석되었다.

This study presumes the efficiency of each route by utilizing data of Seoul's exclusive bus routes for the 2008 and the DEA model. In the estimation, it is assumed that the number of passengers and profits of each route is calculated by considering the number of buses and stops, travel distance, intervals and management cost. This study computed the efficiency scores of each bus line in Seoul based on the data for the first half of 2008 and one of the DEA models, namely the BCC model.

After analysis using the input-oriented BCC model, out of a total of 18 lines of interest, there were 2 CRS lines and 16 IRS lines. Also, the Tobit Regression Analysis that helps identify the impact of the elements used in the analysis on efficiency scores proved that the most influential element to exclusive buses is the length of intervals.

I. 서론

1. 연구의 배경 및 목적

오늘날 대표적인 대중교통 수단인 버스는 서울시와 같이 도시철도망이 구축되어 있는 대도시를 제외한 대부분의 도심지역에서 핵심적인 대중교통 수단으로서의 역할을 수행하고 있다. 서울시의 경우 통행량의 많은 부분이 수도권과 연계되어 있으며, 특히 주변 신도시 개발 등으로 인한 통행량 증가와 높은 승용차 의존도로 인해 혼잡이 가중되고 있기 때문에, 대중교통 수단의 활성화 정책 마련과 함께 이러한 정책들의 효과를 객관적으로 평가할 수 있는 방안이 요구된다.

1990년대 이후 승용차 보급 및 이용 증가에 따른 교통혼잡과 인건비의 상승으로 인해 버스 수단의 운행비용은 급격히 증가하였으나, 운임수입은 연례적인 운임 상승에도 불구하고 도심 철도망 인프라의 확장과 승용차의 지속적인 증가에 따른 승객 수 감소로 인해 크게 증가하지 않았다.

서울시는 이러한 문제를 해결하고자 2004년 7월 수입공동관리를 근간으로 하는 준공영제 도입과 노선체계 및 요금체계 개편, 중앙버스전용차로 시행 등과 같은 전반적인 버스체계를 개편하였다. 그 결과 대중교통 이용자의 효용이 향상되어 버스와 지하철 이용승객이 모두 증가하였고, 특히 버스의 경우 노선개편에 의한 서비스 지역 확대, 대중교통간 무료환승에 따른 요금부담 감소, 중앙버스전용차로 시행에 의한 정시성 확보 등이 경쟁력 개선 요인으로 평가되고 있다. 또한 준공영제 도입에 따라 버스업체는 총 운송수입금이 총 운송비용보다 적어 적자가 발생할 경우, 서울시의 재정지원을 통하여 버스업체의 수입을 보장하기 때문에 경영의 안정화를 확보하여, 지속적인 서비스 제공이 가능하다. 그러나 버스체계 개편 시행 후 약 4년이 지난 현재 대중교통 이용승객의 증가에도 불구하고 서울시의 재정부담은 크게 개선되지 않았기 때문에, 서울시는 매년 발생하는 버스업체들의 적자를 보조하는 대중교통 보조금의 증가에 따른 재정난에 처해 있는 실정이다.

이에 서울시는 버스의 경쟁력을 강화하고 효율성을 제고하기 위한 정책들을 시행할 계획이며, 이와 같은 정책들의 효과를 객관적으로 평가하기 위해서는 버스수단 경쟁력의 기반이 되는 노선의 효율성을 추정하고, 이에 영향을 미치는 요인들을 분석할 필요가 있으나, 현재 시

행되고 있는 버스 평가체계는 평가결과를 통한 성과이윤 배분을 목적으로 하기 때문에 향후 시행될 정책의 평가 방안으로는 적합하지 않은 것으로 판단된다.

2. 연구의 범위 및 방법

본 연구에서는 Charnes et al.(1978)가 Farrell(1957)의 상대적인 효율성 개념을 새로이 해석하고 이를 다수 투입물과 다수 산출물과의 비율모형(CCR ratio)으로 연장한 비선형계획법인 자료포락분석(data envelopment analysis, DEA) 중 규모수익불변의 제약을 해소한 Banker et al.(1984)의 BCC 모형을 이용하여 현재 각 버스노선의 효율성 점수를 계산하고, 이러한 점수에 대해 Tobit 회귀식을 추정하여 효율성에 영향을 미치는 요인들을 분석함으로써 버스수단의 경쟁력을 강화시킬 수 있는 방안을 제시한다. 이러한 분석을 통하여 현재 시행하고 있는 버스 서비스 평가체계에서 다루지 못하는 버스수단의 문제점을 파악할 수 있으며, 이를 보완함으로써 장기적으로 대중교통 보조금의 감소 또한 기대할 수 있을 것으로 사료된다.

II. 기존연구고찰

1. 현행 버스서비스 평가체계

현행 서비스 평가체계는 평가결과를 통해 경영성과에 따라 차등 분배되는 성과이윤의 지급근거를 마련하고, 우수업체간 경쟁 및 운전자 의식 행태를 변화하여 서비스 개선을 유도하고자 시내버스 업체를 대상으로 실시하고 있다. 이러한 평가는 서울시내버스 전 업체(68개 업체)를 대상으로 매년 실시되며, 평가분야로는 운행관리, 서비스 개선, 경영개선 등 3개 분야로 구분된다. 각 분야는 다양한 평가지표를 가지고 있으며, 이는 <표 1>과 같다.

현행 버스평가체계의 경우 인센티브는 있으나 disincentive 혹은 penalty가 전혀 없는 것이 가장 큰 문제점이며, 운송비 개선, 시간당 승객수, 시간당 수익률 비교, 노선별 보조금 비교평가 등의 평가지표가 추가되어야 할 것으로 판단된다. 또한 지나치게 많은 평가 지표의 사용으로 혼란을 초래할 여지가 있으며, 버스업체의 평가지표에 대한 이의제기가 많은 상황이다.

따라서 현재 평가체계로는 버스업체 또는 노선의 문제

<표 1> 현행 버스평가 분야 및 지표

평가분야	평가지표
운행관리	안전운행지수
	근로자 복지수준
	BMS 활용 운행관리
서비스개선	서비스 품질평가
	오염도 평가
경영개선	CNG버스 등 도입
	운송수지 개선
	재무 건전성
	수입·지출의 투명성
	내부개선

자료: 서울특별시 교통국

점을 파악하기가 어려우며, 파악이 된다 하더라도 이에 대한 penalty가 없기 때문에 개선의 의지가 크지 않아 버스 수단의 효율성 향상을 기대하기는 어려운 상황이다.

2. 기존문헌검토

국내 교통분야의 경우 DEA 모형을 이용하여 효율성을 평가한 연구로는 철도·버스·항공·물류 등에서 비교적 활발하게 이루어지고 있으나, 버스노선에 대해 효율성을 분석한 선행연구는 전무한 상태이며, 일반적으로 버스업체를 대상으로 하는 평가분야 및 지표를 사용하여 현행 버스의 평가가 이루어지고 있다.

버스부문의 선행연구를 살펴보면, 김성수 외 2명(2002)

은 DEA 모형을 이용하여 서울시 69개 시내버스업체에 대한 업체별 효율성 점수를 산출한 후 규모의 경제성과 최소 효율규모를 도출하였다. 또한 오미영 외 2명(2002)은 DEA 모형을 이용하여 서울시 69개 시내버스업체에 대한 효율성 점수를 산출하고, 이에 대한 토빗(Tobit)회귀식을 추정하여 효율성에 영향을 미치는 요인들을 분석하였다. 한편 오미영 외 1명(2005)은 서울시 대중교통체계 개편 전과 후의 시내버스업체별 자료를 이용하여 DEA 모형으로 업체별 효율성을 추정한 후, Malmquist 지수 측정방법을 적용하여 업체별 생산성 변화를 분석하였으며, 오미영 외 2명(2009)은 버스관리시스템(bus management system, BMS)자료와 DEA 모형을 이용하여 서울시 간선버스의 정시성을 분석하였다.

한편 버스부문 이외의 교통분야에 대한 선행연구를 살펴보면, 김민정 외 1명(2003)은 서로 다른 도시철도 운영기관에 대한 효율성 값을 추정한 후 이들 값에서 토빗회귀식의 추정결과를 이용하여 조직유형 등과 같은 외부 요인들의 영향을 제거하여 내부요인만의 영향이 반영된 효율성 값을 산출하였다. 또한 김민정 외 1명(2004)은 DEA를 이용하여 Malmquist 총생산성 지수를 추정하여 도시철도 운영기관들의 총요소생산성 증가율을 추정하였으며, 김민정 외 1명(2005)은 확률적 비용변경접근법을 이용하여 도시철도 운영기관들의 효율성과 생산성을 추정한 후, 이를 DEA를 이용한 추정결과와 비교함으로써 접근방법의 특성이 추정결과에 미치는 영향을 분석하였다.

<표 2> 국내 교통분야 DEA 모형 관련 선행연구

구분	저자(연도)	분석대상	투입요소	산출요소
버스	김성수(2002)	버스업체	노동, 유류, 차량, 정비	도시형버스, 좌석버스
	오미영(2002)	버스업체	노동, 유류, 차량, 정비	운행거리, 승객수
	오미영(2005)	버스업체	운전, 정비, 관리, 차량, 연료	운행거리, 승객수, 운행거리+승객수
	오미영(2009)	버스 정시성	-	-
철도	김민정(2003)	도시철도 운영기관	노동, 전력, 전동차, 궤도(또는 자본)	전동차-km
	김민정(2004)	도시철도 운영기관	노동, 전력, 전동차, 궤도(또는 자본)	전동차-km
	김민정(2005)	도시철도 운영기관	노동, 전력, 전동차, 궤도(또는 자본)	전동차-km
항공	이영혁(2004)	아시아 주요 공항의 여객 터미널	여객 터미널의 면적, 체크인 카운터의 수, 여객기 주차장의 수, 수하물 수취대 수, 공공주차장 용량	연간 여객 처리 실적
	홍석진(2004)	항공 화물 사업	공급좌석-km, 종업원 수	총매출액, 승객-km, 화물 운송-km
	전일수(2004)	항공 화물 운송 서비스	-	-
	홍석진(2005)	공항	경비와 종업원 수, 공항 연간 처리능력	영업수익과 WLU실적치
항공	김민정(2008)	출입국 절차	-	-
물류	하현구(2007)	물류 산업	종업원수, 고정자산, 자본총계, 운영비용	매출액, 당기 순이익
기타	홍석진(2003)	교통 정책 우선 순위	-	-
	홍석진(2005)	물류 전문 인력 양성	-	-

<표 3> 국외 버스분야 DEA 모형 관련 선행연구

구분	저자(연도)	분석 대상	투입요소	산출요소
버스	Kerstens(1996)	버스 업체	노동, 차량수, 동력량	차량-km, 좌석-km
	Nolan et al.(1996)	버스 업체	노동, 차량대수, 동력량	차량-km
	Viton(1998)	버스업체	평균차량, 운행거리, 차량수, 장비비용, 노동시간, 보험비용	차량-km, 승객수, 차량-시간
	Nolan et al.(2001)	버스업체	차량대수,노동인원, 동력량, 노선거리	차량-km
	Cowie(2002)	버스업체	노동, 자본	차량-km
	Boame(2004)	대중 교통	연료, 노동, 평균속도 등	차량-km 등
	Sheth et al.(2007)	버스노선	차두시간, 운행비용, 교차로 수 등	차량-mile, 승객-mile 등
	Lao(2009)	버스노선	운행시간, 정거장 수 등	승객 수

이 밖에도 DEA 모형은 교통분야의 항공·물류·기타부문 등에서 다양하게 활용되고 있으며 국내 교통분야에서 DEA 모형을 사용한 선행연구들은 <표 2>에 요약되어 있다.

한편 <표 3>과 같이 DEA를 이용한 국외 버스분야관련 선행연구를 살펴보면, Kerstens(1996)은 1990년도 114개 버스업체 자료를 이용하여 버스운송업 효율성에 영향을 미치는 외생적 요인을 규명하였으며, Nolan et al.(1996)은 25개 버스업체의 1989년~1993년간 125개 통합자료를 이용하여 버스운송업의 효율성을 분석하였다.

또한 Viton(1998)은 1988년 183개 업체와 1992년 169개 업체로 구성된 352개 통합자료를 이용하여 버스운송업의 생산성 증가율을 분석하였으며, Nolan et al.(2001)은 동일한 자료를 사용하여 효율성에 (+)/(-) 영향을 미치는 외생적 요소를 분석하였다. Cowie(2002)는 1992년~1996년간 282개 통합자료를 이용하여 버스운송업의 민영화 이후 발생한 합병이 기술적 효율성과 규모효율성에 미치는 영향을 분석하였다.

한편 Boame(2004)는 1990년~1998년간 도심 대중교통 시스템에 대하여 Bootstrap 방식을 적용한 DEA와 기존 DEA와의 기술적 효율성 점수 차이를 분석하였으며, Sheth et al.(2007)은 Network DEA를 이용하여 버스노선에 대한 서비스 공급자 측면과 이용자 측면을 동시에 고려하는 효율성을 분석하였다. 또한 Lao(2009)는 GIS 정보를 이용하여 버스노선에 영향을 미치는 공간적 요소를 제거하여 효율성 점수를 분석하였다. 이와 같은 국외 버스분야관련 선행연구들을 검토한 결과 Sheth et al.(2007)와 Lao(2009)는 기본적인 자료포락분석기법만을 이용하지 않고 Network DEA, GIS-T와 같은 방법론과 결합하여 새로운 분석방법론을 개발하여 분석하였으나, 기존의 DEA를 사용하여 분석

한 결과와의 비교가 명확히 이루어지지 못하였다.

또한 이들 연구에서는 효율성에 영향을 미치는 요소들에 대한 분석이 이루어지지 않아 향후 효율성이 낮은 노선을 개선하기 위한 지표로 사용하기에는 무리가 있을 것으로 판단된다.

III. 자료포락분석 및 토빗회귀분석

1. 효율성 정의

효율성(efficiency)은 일반적으로 생산조직이 사용한 투입요소의 사용량에 대한 산출물 생산량의 비율을 의미한다.

$$\text{효율성} = \frac{\text{산출물의 생산량}}{\text{투입요소의 사용량}}$$

효율성은 생산조직이 단일 투입요소를 사용하여 단일 산출물을 생산할 경우에는 계산이 매우 간단하지만, 대부분의 생산조직은 다수의 투입요소를 사용하여 다수의 산출물을 생산한다. 이러한 조직의 효율성을 계산하기 위해서는 다수의 투입요소에 가중치를 적용하여 총괄한 총괄투입(aggregated input)과 다수의 산출물에 가중치를 적용하여 총괄한 총괄산출(aggregated output)을 계산하는 과정이 필요하다.

Farrell(1957)은 효율성을 기술효율성(technical efficiency), 가격효율성(price efficiency), 총괄효율성(overall efficiency) 등으로 구별하였으며 각각의 정의는 다음과 같다. 기술효율성은 산출량과 이를 생산하는데 사용된 투입량간의 관계를 나타내는 것으로서, 주어진 투입량 내에서 최대의 산출량을 나타내는 능력을 의미한다.

또한 가격효율성은 산출량을 최소비용으로 생산할 수 있는 투입요소의 최적조합과 관련이 있으며, 가격적으로 비효율적이라는 것은 투입요소들을 최적 투입량보다 과다하게 사용하는 경우와 함께 과소 사용하는 경우에도 발생한다. 한편 총괄효율성은 기술효율성과 가격효율성의 곱으로 정의되며, 이는 전체 경제적 효율성 척도를 제공하기 위해서는 기술효율성과 가격효율성이 동시에 고려되어야 함을 의미한다.

2. 자료포락분석

자료포락분석(DEA: Data Envelopment Analysis)은 1978년 Charnes, Cooper, Rhodes 등에 의해 최초로 제시된 “다수의 투입물과 다수의 산출물의 비율을 이용하여 의사결정단위(DMU: Decision Making Unit)의 상대적 효율성을 선형계획법으로 측정하는 분석법”이다. 이는 비모수적 방법으로서 생산함수의 모양과 모수에 관한 아무런 가정도 설정하지 않는다는 점에서 큰 장점을 가지고 있다. 즉 본 연구에서의 DMU는 개별 간선버스노선을 의미한다.

1) DEA 모형에서의 효율성 개념

DEA 모형에 있어서 효율성은 기술적 효율성의 개념으로 가장 효율적인 프론티어와의 비교를 통해 결정되는 상대적 효율성의 개념이다. 즉 이상적인 기준점에 따라 평가되는 절대적 효율성의 측정은 불가능하기 때문에, 유사한 투입·산출 구조를 가지는 준거 집단(Reference set)과의 비교를 통하여 효율성의 정도를 측정하는 것을 의미한다.

2) DEA 기본모형

일반적으로 가장 많이 활용되는 DEA 모형은 Charnes, Cooper & Rhodes(1978)의 CCR 모형과 Banker, Charnes & Cooper(1984)의 BCC 모형이 있으며, 본 연구에서 사용된 BCC 모형을 살펴보면 다음과 같다.

(1) BCC 모형

Banker, Charnes, Cooper가 DMU의 전체 효율성을 추정하기 위해 제시한 BCC 모형은 CCR 모형에서 가정한 “규모에 대한 보수불변(CRS: Constant returns to scale)”을 완화하여 “규모에 대한 보수가변(VRS: Variable returns to scale)”이라는 가정을 추가한 모형

이다. BCC 모형은 규모의 수익효과를 파악하고 이를 기술적 효율성에서 분리시켜 규모의 효율성을 제외한 순수 기술적 효율성에 따라 DMU들의 구분이 가능하며, 산출 기준 BCC 모형은 다음과 같다.

$$Min \theta_0 = \frac{\sum_{i=1}^m v_i x_{i0} + v_0}{\sum_{r=1}^s u_r y_{r0}} \tag{1}$$

$$s.t. \frac{\sum_{i=1}^m v_i x_{ij} + v_0}{\sum_{r=1}^s u_r y_{rj}} \leq 1, \quad j = 1, \dots, n$$

$$u_r \geq \epsilon \geq 0, \quad r = 1, \dots, s$$

$$v_i \geq \epsilon \geq 0, \quad i = 1, \dots, m$$

여기서,

- θ_0 : DMU_0 의 효율성
- u_r : r번째 산출물에 대한 가중치
- v_i : i번째 투입물에 대한 가중치
- y_{rj} : DMU_j 의 r번째 산출물의 양
- x_{ij} : DMU_j 의 i번째 투입물의 양
- y_{r0} : 평가대상 DMU_0 의 r번째 산출물의 양
- x_{i0} : 평가대상 DMU_0 의 i번째 투입물의 양
- ϵ : non-Archimedean 상수
- n : DMU의 수
- m : 투입물의 수
- s : 산출물의 수

CCR 모형과 BCC 모형을 비교하면 부호 제약을 받지 않는 변수 v_0 가 도입된 것 이외에는 차이가 없음을 알 수 있다. BCC 모형에서의 v_0 는 규모에 대한 경계를 파악하는 지표로서 사용되며 복수해가 존재하는 경우에는 규모의 경계에 대한 상이한 결과를 도출할 수 있다. 즉, v_0 의 값은 측정단위에 따라서 그 크기가 변동하므로 규모의 경제(비경제)에 대한 절대값을 의미하는 것이 아니라 단지 규모의 경제(비경제) 여부에 대해서만 분석이 가능하다.

- $v_0 = 1$ - 규모에 대한 보수불변 (CRS: Constant returns to scale)
- $v_0 > 0$ - 규모에 대한 보수증가 (IRS: Increasing returns to scale)
- $v_0 < 0$ - 규모에 대한 보수감소 (DRS: Decreasing returns to scale)

예를 들어 $v_0 > 0$ 이면 규모가 λ 배 확대될 때 산출량이 λ 배 이상으로 증대되는 경우로서 이는 규모를 더 늘림으로써 효율성을 증대할 수 있다는 의미이다. 반대로 $v_0 < 0$ 이면 규모가 λ 배 확대될 때 산출량이 λ 보다 작게 증가하는 경우로 산출량을 강제로 감소시켜 규모를 조정하면 이 비율이상으로 투입량을 절감할 수 있는 경우이다.

3. 토빗회귀분석

일반적으로 DEA 모형에 의한 효율성 분석에서 투입요소와 산출요소의 상관관계를 파악하기가 어렵기 때문에, 이러한 자료들이 효율성 점수에 어떠한 영향을 미치는지 분석하기는 쉽지 않다. 본 연구에서는 이와 같은 DEA 모형에 의한 한계를 보완하기 위하여 토빗회귀분석을 통하여 각 투입 및 산출요소가 효율성에 미치는 영향을 계량적으로 분석하였다.

토빗회귀분석은 종속변수의 범위가 제한되어 있는 회귀식을 추정하는데 적합하며, 본 연구에서 추정된 효율성 점수는 해당 범위가 0과 1사이로 제한되어 있기 때문에, 효율성 점수를 종속변수로 사용하여 회귀식을 구성할 경우 토빗회귀분석을 통하여 모수를 추정하는 것이 타당하다. 따라서 본 연구에서는 DEA 모형에 의해 추정된 각 노선의 효율성 점수를 종속변수로, 또한 노선의 효율성 점수에 영향을 미칠 것으로 고려되는 요소들을 독립변수로 하는 토빗회귀식을 구성한다.

토빗회귀식에 포함되는 독립변수들의 다중공선성을

<표 4> 독립변수간 상관관계

구분	운행대수	노선거리	정류장개수	배차간격	총운송비	승객수	총수익금	효율성점수
운행대수	1.0	-	-	-	-	-	-	-
노선거리	0.8	1.0	-	-	-	-	-	-
정류장개수	0.7	0.8	1.0	-	-	-	-	-
배차간격	-0.6	-0.3	-0.1	1.0	-	-	-	-
총운송비	0.9	0.8	0.8	-0.5	1.0	-	-	-
승객수	0.9	0.5	0.7	-0.5	0.89	1.0	-	-
총수익금	0.9	0.7	0.8	-0.6	0.9	0.9	1.0	-
효율성점수	-0.2	-0.4	-0.3	-0.2	-0.2	0.2	0.1	1.0

파악하기 위하여 DEA 모형을 통해 산출된 효율성 점수와 모든 투입 및 산출요소를 대상으로 상관관계 분석을 수행하였으며, 결과는 <표 4>와 같다.

추정된 효율성 점수와 모든 투입 및 산출요소를 대상으로 상관관계 분석을 수행한 결과 효율성 점수와 가장 큰 상관관계를 나타내는 변수는 투입요소 중 노선거리이며, 해당 변수와 상관관계가 낮은 변수는 투입요소 중 배차간격과 승객수이다. 따라서 본 연구에서는 DEA 모형에 의한 효율성 점수를 종속변수로 하고 노선거리와 배차간격, 승객수를 독립변수로 하는 토빗회귀식을 구성한 후, LIMDEP 7.0을 사용하여 회귀식의 모수를 추정하여 효율성에 기여하는 변수의 영향력을 분석하였다.

IV. 효율성 평가 및 해석

1. 자료 및 추정방법

효율성 평가시 사용된 자료는 <표 5>와 같이 18개의 서울시 간선노선에 대한 2008년도 횡단면 자료이며, 이는 서울시 내부자료를 이용하여 구축하였다. 서울시의 경우 교통혼잡을 줄이기 위한 대중교통정책의 하나로 지속적인 BRT노선(bus rapid transit)의 도입을 고려하고 있기 때문에, 현 상태의 간선노선에 대한 효율성을 분

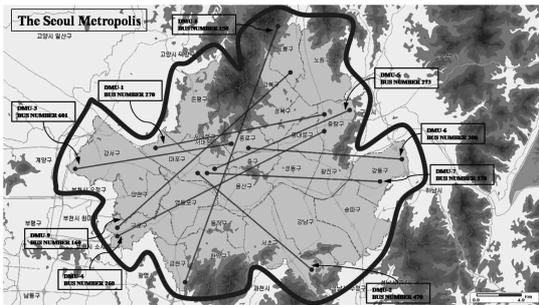
<표 5> DEA 분석에 사용되는 투입물과 산출물 자료

구분	투입물					산출물	
	(A)	(B)	(C)	(D)	(E)	(F)	(G)
	대	km	개	분	억원	만인	억원
DMU1	31	50.6	101	8	4.9	54	3.8
DMU2	33	55.2	78	7.5	5.3	61	4.4
DMU3	30	49.9	70	6.5	2.8	33	2.3
DMU4	41	64.6	115	8.5	6.1	80	5.6
DMU5	36	43.9	110	8.5	5.2	76	5.5
DMU6	17	44	78	12.5	2.6	21	1.6
DMU7	34	66.1	107	9	5.6	67	4.9
DMU8	65	74	122	5	9.2	1.23	8.6
DMU9	41	69.9	113	8.5	6.1	82	5.7
DMU10	32	44.1	92	9.5	4.6	51	3.5
DMU11	31	47.7	98	9.5	4.4	51	3.6
DMU12	25	35.1	55	6	3.5	42	2.8
DMU13	12	43.1	76	10	1.7	23	1.4
DMU14	12	45	81	10.5	1.8	21	1.5
DMU15	26	37	63	7	3.9	49	3.6
DMU16	41	76.9	107	8	6.1	31	4.1
DMU17	38	55.3	96	7.5	6.2	75	5.4
DMU18	44	72.5	105	7.5	6.3	64	4.6

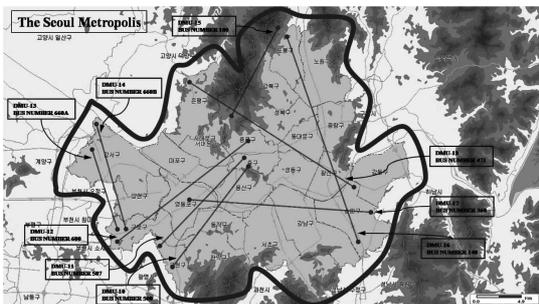
석함으로써 향후 도입되는 BRT노선 도입에 대한 효과 및 문제점에 대한 간접적인 분석이 가능할 것으로 판단 된다.

본 연구에서는 각각의 간선노선을 하나의 DMU로 설정하였으며, 이러한 DUM는 차량대수(A), 노선거리(B), 정류장개수(C), 배차간격(D), 운영비(E)와 같은 5개의 투입요소와 승객수(F)와 수익금(G)과 같은 2개의 산출요소를 가진다고 가정하였다. 현재 버스노선의 경우 최적생산규모에서 운영된다고 볼 수 없으며, 서울시 재정부담을 줄이기 위해서는 각 DMU의 투입물을 줄이거나 산출물을 증가시켜야 한다. 본 연구에서는 승객수 등과 같은 산출물 보다는 차량대수, 배차간격 등과 같은 투입물이 DMU를 관리하는 버스업체들의 관리 및 통제가 수월한 요소로 판단하였기 때문에, 산출량은 고정하고 투입량을 최소화하는 투입지향 BCC모형을 사용하여 각 노선의 효율성을 분석하였다.

이러한 자료를 바탕으로 식(1)을 <그림 1>과 <그림 2>와 같은 18개 간선노선마다 각각 구성하여 선형계획의 해를 도출하며, 이는 각 노선의 기술적 효율성 점수가 된다. 각 노선의 효율성 점수는 DEA를 분석하기 위한 프로그램인 DEAP(Data Envelopment Analysis Program)을 이용하였다.



<그림 1> 간선노선



<그림 2> 간선노선

2. 추정결과 및 해석

1) 자료포락분석에 의한 효율성 추정결과

서울시 간선노선의 효율성을 투입지향 BCC 모형으로 추정한 결과는 <표 6>과 같다.

서울시 간선노선에 대한 효율성을 분석한 결과, 평가노선 18개 중 규모수익불변(CRS)인 DMU는 5번(노선번호 273)과 8번(노선번호 150)으로 총 2개(11.1%)이고, 나머지 16개 DMU는 모두 규모수익체증(IRS)인 노선으로 총 88.9%를 차지하는 것으로 나타났다. 규모수익체증인 대부분의 DMU들은 투입요소의 규모를 늘려 각 노선의 효율성을 증가시켜야 할 것으로 판단된다.

또한 참조횟수의 경우 해당 횟수가 높다고 해서 가장 효율성이 높은 DMU라고 평가할 수는 없지만, 준거집단은 투입요소 및 산출요소의 조합에 있어서 비효율적인 DMU들이 벤치마킹의 대상으로 삼아야 할 집단이라는 점에서 가치가 있다. 본 연구에서는 노선번호 100번인 DMU 15와 노선번호 273번인 DMU 5, 노선번호 150번인 DMU 8이 참조횟수가 많은 노선으로 분석되었다.

2) 토빗회귀식 추정결과

DEA 모형을 통해 추정된 효율성 점수와 노선거리,

<표 6> 서울시 간선노선 효율성 분석결과

버스 노선	구분	효율성 점수			준거집단	
		DMU	CRS	VRS	규모 수익	준거 집단
270	DMU1	0.82	0.89	IRS	5,8,15	0
470	DMU2	0.95	0.97	IRS	5,8,15	0
601	DMU3	0.82	1.00	IRS	3	1
260	DMU4	0.95	0.95	IRS	5,8,15	0
273	DMU5	1.00	1.00	CRS	5	8
300	DMU6	0.61	0.93	IRS	12,13	0
370	DMU7	0.94	0.96	IRS	5,14,15	0
150	DMU8	1.00	1.00	CRS	8	7
160	DMU9	0.97	0.97	IRS	5,8,15	0
500	DMU10	0.77	0.86	IRS	5,12,13,15	0
507	DMU11	0.79	0.85	IRS	3,5,12,13,15	0
600	DMU12	0.87	1.00	IRS	12	5
660A	DMU13	0.89	1.00	IRS	13	3
660B	DMU14	0.84	1.00	IRS	14	1
100	DMU15	0.97	1.00	IRS	15	10
140	DMU16	0.68	0.78	IRS	8,12,15	0
360	DMU17	0.98	0.99	IRS	5,8,15	0
471	DMU18	0.74	0.81	IRS	8,12,15	0

<표 7> 토빗회귀식 모수추정 결과

독립변수	계수추정치	t-통계량
노선거리	-0.02324468	-2.661
배차간격	-0.09574666	-4.023
승객수	0.04243828	3.123
수정결정계수	0.242	

배차간격, 승객수 변수로 구성된 토빗회귀식의 모수를 추정한 결과는 <표 7>과 같다.

모수추정 결과 모든 독립변수의 부호가 합리적으로 도출되었으며, 계수추정치는 5%이상의 수준에서 유의한 것으로 나타났다. 이들 변수 가운데 서울시 간선버스 노선에 가장 큰 영향을 미치는 요소는 배차간격으로 분석되었기 때문에, 현재 간선버스 노선의 효율성을 개선하기 위해서는 배차간격을 줄이는 방안이 반드시 필요하며, 이는 향후 도입되는 BRT 노선의 운영에 있어서도 가장 영향을 미치는 요소일 것으로 예상된다.

V. 결론 및 향후연구과제

본 연구에서는 2008년 서울시 간선버스 노선의 자료와 DEA 모형을 이용하여 각 노선의 효율성을 추정하였다. 효율성 추정시 각 노선을 하나의 DMU로 설정하였으며, 각 DMU는 차량대수, 노선거리, 정류장개수, 배차간격, 운영비를 투입하여 승객수와 수익금을 산출하도록 가정하였다.

투입지향 BCC 모형으로 분석한 결과, 평가노선 18개 중 규모수익불변(CRS)인 DMU는 총 2개(11.1%)이고, 나머지 16개 DMU는 모두 규모수익체증(IRS)인 노선으로 총 88.9%를 차지하는 것으로 나타났다. 규모수익체증인 대부분의 DMU들은 투입요소의 규모를 늘려 각 노선의 효율성을 증가시켜야 할 것으로 판단되며, 비효율적인 DMU들이 벤치마킹의 대상으로 삼아야 할 집단으로는 DMU 15와 DMU 5, DMU 8인 것으로 분석되었다.

또한 본 연구에서는 분석에 사용된 요소들이 효율성 점수에 미치는 영향을 분석하기 위하여 토빗회귀분석을 수행하였다. 모수추정 결과 모든 변수의 부호는 합리적으로 추정되었으며, 현재 서울시 간선버스 노선에 가장 큰 영향을 미치는 요소는 배차간격으로 분석되었다. 이와 같은 결과를 토대로 향후 버스노선의 효율성을 개선하기 위해서는 노선거리와 배차간격, 승객수 등과 같은 요소들을 중심으로 방안을 모색해야 하며, 특히 배차간

의 개선은 반드시 이루어져야 버스노선의 효율성 향상을 기대할 수 있을 것으로 판단된다.

참고문헌

1. 박순달(1999), "선형계획법", 민영사.
2. 이준구(2008), "미시경제학", 범문사.
3. 김성수·김민정(2002), "서울 시내버스운송업의 규모 및 범위의 경제성 분석", 대한교통학회지, 제19권 제6호, 대한교통학회, pp.89~102.
4. 오미영·김성수·김민정(2002), "자료포락분석기법(DEA)을 이용한 서울 시내버스운송업의 효율성 분석", 대한교통학회지, 제20권 제2호, 대한교통학회, pp.59~68.
5. 김민정·김성수(2003), "자료포락분석기법을 이용한 도시철도 운영기관의 효율성 분석", 대한교통학회지, 제21권 제4호, 대한교통학회, pp.113~132.
6. 홍석진·오재학·하현구(2003), "자료포락분석(DEA)을 이용한 교통정책 우선순위 설정에 관한 연구", 대한교통학회지, 제21권 제5호, 대한교통학회, pp.49~58.
7. 홍석진(2004), "항공화물 부문과 항공사 효율성에 관한 연구(자료포락분석(DEA) 모형의 이용)", 대한교통학회지, 제22권 제3호, 대한교통학회, pp.17~26.
8. 이영혁·김은정·김도현(2004), "DEA 분석에 의한 아시아 공항 운영 효율성 연구", 대한교통학회지, 제22권 제4호, 대한교통학회, pp.7~18.
9. 오미영·김성수(2005), "서울의 대중교통체계 개편에 따른 시내버스업체의 생산성 변화", 대한교통학회지, 제23권 제7호, 대한교통학회, pp.53~61.
10. 홍석진·문형진(2005), "국내지방공항의 운영성과 분석(WLU를 이용한 DEA모형의 적용)", 대한교통학회지, 제23권 제8호, 대한교통학회, pp.89~98.
11. 오미영·정창용·손의영(2009), "BMS 자료를 이용한 서울시 간선버스의 정시성 분석(자료포락분석기법을 적용하여)", 대한교통학회지, 제27권 제1호, 대한교통학회, pp.63~71.
12. Debreu, G. (1951), "The Coefficient of Resource Utilization", *Econometrical*, Vol. 19, pp.273~292.
13. Farrell, M. J. (1957), "The Measurement of Productive Efficiency", *Journal of the Royal*

